УДК 681.5.622.244

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ГЕРМЕТИЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАШИННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

С.В. Леонов, О.П. Муравлев, А.Г. Каранкевич

Томский политехнический университет
E-mail: siberia99@mail.ru

Приведены сведения по разработке электромашинных источников питания скважинного прибора, применяемого при бурении наклонно-направленных и горизонтальных скважин на нефть и газ. Предложено несколько конструкций, позволяющих увеличить время безотказной работы скважинного генератора за счет герметичного исполнения элементов магнитной системы электрической машины.

Для повышения эффективности вскрытия нефтяных пластов ведущие буровые компании широко используют современные технические средства, способствующие построению кустов и разбуриванию стволов старого фонда скважин. Данные технологии успешно внедряют с началом бурения горизонтальных и наклонно-направленных скважин, построение которых затруднительно без использования автоматизированного оборудования, повышающего уровень инженерного сопровождения буровых работ. Одним из наиболее перспективных направлений автоматизации при построении скважин специального профиля является применение забойных инклинометрических телесистем, способных непрерывно отслеживать траекторию движения буровой колонны [1].

В ходе эксплуатации забойных телесистем специалисты отмечают недостаточную продолжительность работы скважинного прибора. Регламентный период работы прибора ограничен низкой надежностью автономного электромашинного синхронного генератора (порядка 80 ч), применяемого в качестве источника электропитания инклинометрической и передающей аппаратуры. Данный недостаток связан с негерметичным исполнением конструкции электрической машины. Присутствие механических вибраций больших амплитуд и высокого давления бурового раствора (до 200 атм), содержащего абразивные частицы, приводит к увеличению технологических зазоров в сальниковых уплотнителях генератора. При попадании буровой жидкости внутрь электрической машины происходит

дит окисление материала полюсной системы, разрушение подшипников и повреждение изоляции проводников обмотки. Аварийное состояние скважинного генератора влечет за собой выполнение ремонтных работ после полного подъема буровой колонны на поверхность [2].

Согласно опыту эксплуатации забойных инклинометрических телесистем в ООО «ТомскНефтегазинжиниринг» (г. Томск) – 51 % скважинных генераторов недорабатывают до нормативного времени, из них: 23 % отказов из-за некачественного обслуживания на буровой; 22 % отказов из-за недостатков конструкции и изготовления; и 6 % отказов из-за некачественного ремонта и техобслуживания. Причины повреждения скважинного генератора связаны с экстремальными условиями эксплуатации машины: вымываются и срезаются элементы конструкции, происходит течь масла через наконечник и торцевые уплотнения, попадает технологический мусор в турбину генератора и многое другое. При анализе характера повреждений были определены две существенные задачи, с решением которых возможно повышение нормативного срока службы генератора. Первая задача состоит в герметизации элементов магнитной системы для предотвращения разрушительного воздействия бурового раствора, а также в разгрузке подшипников, испытывающих большие динамические напряжения. Вторая задача – это улучшение жесткости конструкции всего скважинного прибора, а именно: изменение конструкции турбины, выравнивание пути потоку бурового раствора, герметизация наконечника с электрическим разъемом. Решение данных задач позволит повысить время межремонтного периода работ и снизить количество отказов телесистемы, происходящих из-за несовершенства конструкции и технологии изготовления.

В составе существующих скважинных генераторов применяется синхронная машина, выполненная по классической схеме с радиальным направлением магнитного потока. Магнитное поле генератора создается постоянными магнитами, расположенными на роторе электрической машины. Статор машины содержит двухфазную обмотку – силовую для электропитания излучателя скважинного прибора и слаботочную для электронных блоков инклинометра. Выводы статорной обмотки соединяются с разъемом наконечника, через который осуществляется питание инклинометрической системы.

Для решения вышеописанной задачи было предложено применить в составе скважинного генератора электрическую машину торцевого типа [3]. При экранировании активных частей магнитной системы в данной конструкции имеется возможность увеличить высоту полюса с целью повышения величины магнитодвижущей силы (МДС) магнита, которая компенсирует завышенный при герметизации воздушный зазор (немагнитный промежуток). Однако в процессе испытаний макетного образца были выявлены недостатки, основными из которых являются: дефицит выходной мощности при использовании машины в скважинах малого диаметра (120 мм), наличие сил одностороннего магнитного тяжения и значительное проявление зубцового эффекта, обусловленное сосредоточенным исполнением магнитной системы.

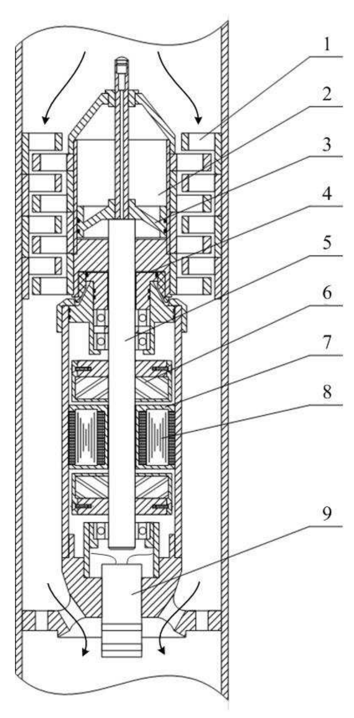


Рис. 1. *Скважинный генератор на основе дисковой электрической машины: 1) гидротурбина; 2) масленый контейнер; 3) поршневой компенсатор; 4) торцевое уплотнение; 5) вал электрической машины; 6) ротор; 7) немагнитная перегородка (экран); 8) обмотка статора; 9) разъем наконечника*

Повышение величины преобразуемой мощности наряду с герметичным исполнением элементов магнитной системы может быть достигнуто применением скважинного генератора дисковой конструкции (рис. 1). В предлагаемой конструкции генератор состоит из двух вращающихся роторов, выполненных в виде двух дисковых магнитопроводов и статора, расположенного между ними. На магнитопроводах установлены высококоэрцитивные постоянные магниты с чередующейся полярностью, создающие аксиальный магнитный поток. Герметичность статора достигается установкой в воздушном зазоре немагнитной перегородки (экрана), препятствующей попаданию бурового раствора в полость статора и предотвращающей разрушение изоляции обмотки агрессивной средой. Для надежного крепления магнитов в ярмо ротора устанавливается цилиндрическая арматура из немагнитного материала. Снаружи полюсная система надежно закрывается обечайкой, которая прикрепляется болтовыми соединениями к ярму ротора. Ферромагнитные стержни закреплены между герметизирующими пластинами и для максимального заполнения активного объема статора имеют трапециидальное сечение. На стержни уложена сосредоточенная обмотка, которая в зависи-

мости от исполнения активной зоны может иметь одно- или многофазную схему соединений. Для выравнивания температурного поля и создания динамических усилий, противодействующих буровому раствору, образовавшиеся полости статора машины заполняются трансформаторным маслом.

Несомненным достоинством данной конструкции является повышение эффективности преобразования электромагнитной энергии при сохранении герметичности элементов магнитной системы. Посредством добавочного промагничивания удалось увеличить токовую нагрузку и длину стержней статора. Несмотря на явнополюсное исполнение геометрии магнитной системы, момент сопротивления на валу генератора, обусловленный проявлением «зубцового эффекта», удалось снизить более чем в 2,5 раза за счет введения угла сдвига роторов относительно друг друга (аналогично скосу пазов у цилиндрической машины). Также следует отметить, что в дисковой электрической машине скомпенсированы аксиальные силы тяжения магнитов, которые могут проявляться только при некачественной сборке элементов конструкции генератора. Слабой же стороной машины является сложность организации надежного электрического соединения катушек обмотки с разъемом наконечника.

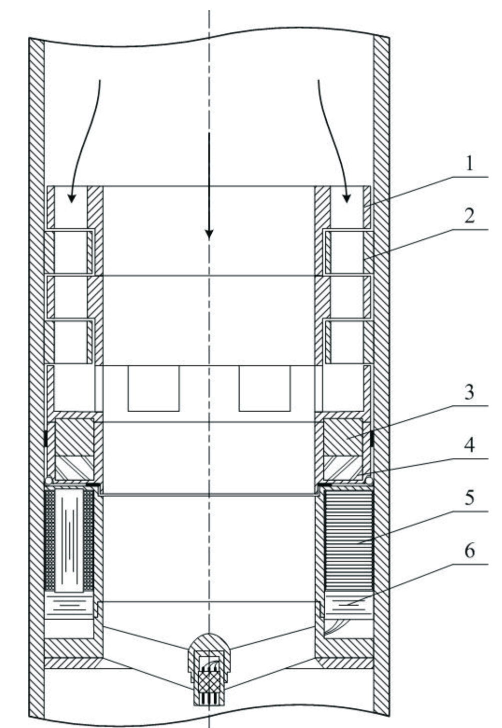


Рис. 2. *Скважинный генератор на основе торцевой электрической машины, выполненной в виде полого цилиндра: 1) роторная и 2) статорная часть турбины; 3) ярмо ротора; 4) полюс; 5) стержень; 6) ярмо статора*

В результате создания герметичного электромашинного источника питания инклинометрической системы были решены не все вопросы надежной и долгосрочной эксплуатации скважинного прибора. Для повышения жесткости машины и снижения вероятности вымывания элементов конструкции, предлагается несколько изменить принцип размещения телесистемы и источника питания внутри буровой трубы (рис. 2). В применяемых до настоящего времени инклинометрах поток бурового раствора, приводящий в движение компоновку низа буровой колонны, протекает вокруг защитного корпуса скважинного прибора.

В нашем случае предлагается выполнить скважинный генератор в виде полого цилиндра, в центре которого будет протекать буровой раствор. В данной конструкции за счет увеличения внешнего диаметра электрической машины до внутреннего типоразмера буровой трубы возрастает величина основного магнитного потока, что объясняется снижением влияния потоков рассеяния в магнитной системе. При условии сохранения линейной скорости перемещения полюсов ротора относительно стержней статора появляется возможность уменьшить частоту вращения турбины генератора практически в 2 раза и этим понизить механические напряжения, износ подшипников и вымывание элементов конструкции защитного корпуса.

Предложенный нами принцип расположения скважинного генератора повышает жесткость корпуса и надежность устройства, а также позволяет выпрямить путь протекания бурового раствора и снизить вероятность повреждения элементов конструкции скважинного прибора. Герметичность работы электрической машины, как и в предыдущих случаях, обеспечивается наличием немагнитных экранов защищающих элементы магнитопровода. Для ослабления «зубцового» эффекта соотношение количества стержней статора и полюсов ротора предлагается выбрать как 9:12. Аксиальные силы тяжения в рассматриваемой конструкции генератора могут быть учтены установкой осевого подшипника, расположенного между статором и ротором. Подшипник состоит из шариков, равномерно распределенных по окружности внешнего диаметра ротора машины.

Определение энергетических характеристик и оптимизация рассмотренных конструкций скважинных генераторов выполнена в разработанном нами программном комплексе, который позволяет наглядно моделировать стационарные электромагнитные процессы в нелинейных магнитных системах с использованием современных методов и алгоритмов математического анализа электромеханических устройств. Для построения программы расчета была использована математическая модель, основанная на методе интегрирования по источникам поля. Данный метод базируется на общей концепции методов вторичных источников и позволяет проводить численный расчет трехмерного магнитного поля магнитных систем любой степени сложности [4]. На рис. 3 приведены сравнительные характеристики активной мощности скважинных генераторов, разрабатываемых для труб с внутренним диаметром D_i 120...240 мм.

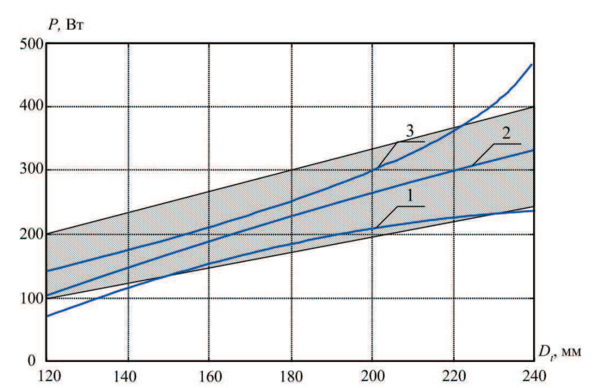


Рис. 3. *Диаметральные характеристики мощности скважинного генератора: 1) торцевого исполнения; 2) дисковой конструкции; 3) торцевого исполнения в виде полого цилиндра*

Для скважинных генераторов торцевой и дисковой конструкции величина внешнего диаметра машины соответствует половине внутреннего диаметра буровой трубы. Серым фоном (рис. 3) выделена область, рекомендуемая специалистами сервисной службы ООО «ТомскНефтегазинжиниринг» для проектирования новых скважинных генераторов. Характеристики генераторов (рис. 3) получены для номинального режима работы и отвечают скоростям вращения 1500, 1100 и 800 об/мин соответственно. Согласно приведенным результатам, характеристики генератора торцевого исполнения не удовлетворяют по величине преобразуемой мощности для использования в скважинах малого диаметра. Применение данной машины целесообразно в скважинах диаметром 160 мм и более при соотношении количества полюсов и стержней 4:6 или 8:12 с трехфазным сосредоточенным исполнением обмотки. Использование генератора дисковой конструкции возможно при решении вопроса надежного соединения обмоток с разъемом наконечника. Наиболее перспективным на наш взгляд является применение машины торцевого исполнения в виде полого цилиндра. Удовлетворительные энергетические характеристики, герметичность и пониженная скорость вращения гидротурбины дают основание утверждать о повышении надежности и, следовательно, времени безотказной работы электрической машины.

В результате выполнения ряда научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ были определены соотношения и конечные размеры элементов магнитной системы по каждому из перечисленных вариантов скважинного генератора. После анализа полученных результатов сделан вывод о перспективности внедрения конструкции скважинного генератора на основе торцевой электрической машины, рис. 2. В настоящее время производится конструкторская проработка подшипникового узла, выбор электротехнических материалов и изготовление макетного образца данной электрической машины.

Полученные при разработке скважинного генератора результаты могут быть использованы при создании электромашинных источников питания с экранированным исполнением элементов магнитной системы для электроснабжения автономных объектов.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации, грант № МК-1128.2004.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности: Сб. статей / Под ред. А.К. Хорькова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. – 327 с.
2. Абрамов Г.С., Абрамов О.Л., Сараев А.Н. Новое поколение турбогенераторов для забойных телесистем // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – М.: ОАО “ВНИИОЭНГ”, 2000. – № 4. – С. 4–8.
3. Пат. 2202849 РФ. МПК H02K 21/00, 5/132. Скважинный электромашинный источник питания инклинометрической системы / С.В. Леонов, Г.И. Малевич, Ю.В. Ким, К.А. Хорьков, А.А. Щипков. Опубл. 20.04.2003, Бюл. № 11.
4. Леонов С.В., Каранкевич А.Г., Муравлев О.П., Калаев В.Е., Лялин А.В. Вопросы исследования трехмерного магнитного поля электрических машин с аксиальным магнитным потоком // Известия вузов. Электромеханика. – 2004. – № 5. – С. 8–13.